



⑮ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 199 19 147 A 1**

⑤ Int. Cl.⁷:
G 01 B 21/20
G 05 D 5/00
G 05 B 19/39

⑳ Aktenzeichen: 199 19 147.6
㉔ Anmeldetag: 27. 4. 1999
㉕ Offenlegungstag: 16. 11. 2000

DE 199 19 147 A 1

㉗ Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

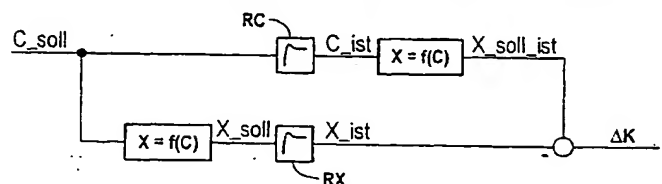
㉘ Erfinder:
Hiller, Jürgen, Dipl.-Ing. (FH), 91301 Forchheim, DE;
Moser, Roland, 92318 Neumarkt, DE; Wiegärtner,
Georg, Dipl.-Ing., 91278 Pottenstein, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zur Ermittlung eines Konturfehlers und Verfahren zur Kontrolle einer korrekten Sollwertvorgabe

⑤⑦ Durch die Erfindung wird ermöglicht, einen Konturfehler, insbesondere bei einer Fertigung von Unrundkonturen, in Echtzeit während eines Bearbeitungsvorganges aus den gemessenen Istwerten einer Rundachse (C) und einer Linearachse X abzuleiten. Dazu werden die gemessenen Istwerte (C_ist, X_ist) mit der gleichen Transformation $X=f(C)$ beaufschlagt, die auch die Kontur beschreibt. Dadurch kann zu jedem gemessenen Istwert (C_ist) der korrespondierende Wert der X-Achse (X_soll_ist) ermittelt werden. Durch einen Vergleich dieses Wertes (X_soll_ist) mit dem gemessenen Istwert (X_ist) der Linearachse (X) erhält man den eventuellen Konturfehler. Durch einen Vergleich des korrespondierenden Wertes (X_soll_ist) mit dem Sollwert (X_soll) der Linearachse (X) läßt sich darüber hinaus eine Kontrolle einer korrekten Sollwertvorgabe erreichen.



DE 199 19 147 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung eines Konturfehlers, insbesondere einer Unrundkontur, bei industriellen Bearbeitungsmaschinen wie numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen, Robotern oder dergleichen. Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Kontrolle einer korrekten Sollwertvorgabe bei ebengenannten industriellen Bearbeitungsmaschinen.

Bei der Bearbeitung von Werkstücken mit industriellen Bearbeitungsmaschinen steht stets die Anforderung an eine hohe Konturtreue des zu fertigenden Werkstückes. Aus diesem Grund besteht die Anforderung, eventuelle Konturfehler zu ermitteln, z. B. um entsprechende Justierungen an der industriellen Bearbeitungsmaschine vorzunehmen.

Aus einem anderen Blickwinkel betrachtet besteht daher auch die Anforderung, eine korrekte Sollwertvorgabe eines Bearbeitungsvorganges im Hinblick auf ein zu fertigende Kontur zu kontrollieren.

Besonders kritisch sind eine Ermittlung eines möglichen Konturfehlers sowie die Kontrolle einer direkten Sollwertvorgabe bei der Bearbeitung von Unrundkonturen wie beispielsweise Nocken oder Exzentern. Solche Werkstücke mit einer Unrundkontur werden in der Regel durch eine industrielle Bearbeitungsmaschine mit mindestens einer Rundachse und einer Linearachse gefertigt. Bei Geometrien und Unrundkonturen wie Nocken oder Exzentern besteht zwischen den genannten Achsen ein funktionaler Zusammenhang $X = f(C)$ mit X für die Linearachse und C für die entsprechende Rundachse.

Im einfachsten Fall kann diese Kontur als mathematische Funktion formuliert werden (z. B. $X = H \cdot \sinus(C)$).

Bisher sind keine Lösungen bekannt, um aus gemessenen Istwerten von Achsen einen Konturfehler abzuleiten. Vielmehr muß ein bearbeitetes Werkstück zu einem späteren Zeitpunkt auf einer Meßmaschine vermessen werden, um einen eventuellen Konturfehler zu ermitteln.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur Ermittlung eines Konturfehlers bei industriellen Bearbeitungsmaschinen zu schaffen, bei dem ein Konturfehler bereits bei der Bearbeitung des Werkstückes festgestellt werden kann.

Desweiteren liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Kontrolle einer korrekten Sollwertvorgabe zu schaffen, welche sich ebenfalls auf die Konturtreue einer industriellen Bearbeitungsmaschine auswirkt und welches ebenfalls bei der Fertigung die Sollwertvorgabe eines Werkstückes auf deren Korrektheit überprüfen läßt.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird die Aufgabe durch ein Verfahren zur Ermittlung eines Konturfehlers bei industriellen Bearbeitungsmaschinen wie numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen oder Robotern oder dergleichen mit einer Rundachse und einer Linearachse, welche einen geometrischen Zusammenhang $X = f(C)$ beschreiben, mit folgenden Verfahrensschritten gelöst, indem

- Istwerte der Rundachse gemessen werden,
- jeder Istwert mit der die Kontur beschreibenden Transformation $X = f(C)$ beaufschlagt wird und ein korrespondierender Wert der Linearachse ermittelt wird,
- entsprechende Istwerte der Linearachse gemessen werden und
- durch Vergleich der gemessenen Istwerte mit den ermittelten korrespondierenden Werten Abweichungen bestimmt werden, welche einen Konturfehler beschreiben.

Außerdem wird die Aufgabe der vorliegenden Erfindung durch ein Verfahren zur Kontrolle einer korrekten Sollwertvorgabe bei industriellen Bearbeitungsmaschinen wie numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen, Robotern oder dergleichen mit einer Rundachse und einer Linearachse, welche einen geometrischen Zusammenhang $X = f(C)$ beschreiben, mit folgenden Verfahrensschritten gelöst, indem

- Istwerte der Rundachse gemessen werden,
- jeder Istwert mit der die Kontur beschreibenden Transformation $X = f(C)$ beaufschlagt wird und ein korrespondierender Wert der Linearachse ermittelt wird,
- entsprechende Sollwerte der Linearachse bestimmt werden und
- durch Vergleich der bestimmten Sollwerte mit den ermittelten korrespondierenden Werten Abweichungen der Sollwertvorgabe bestimmt werden.

Nach einer ersten vorteilhaften Ausgestaltung der Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung wird die konturbeschreibende Transformation $X = f(C)$ als mathematische Funktion beschrieben.

Eine andere vorteilhafte Ausgestaltung der beiden Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung beschreibt die konturbeschreibende Transformation $X = f(C)$ in Form einer Kurventabelle mit Stützpunkten, zwischen denen Zwischenwerte durch eine Interpolation ermittelt werden.

Besonders vorteilhaft erfolgt die Interpolation durch eine Linearinterpolation oder eine Splineinterpolation.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung werden diese in Echtzeit an der industriellen Bearbeitungsmaschine ausgeführt.

Besonders vorteilhaft lassen sich die Verfahren auch an leerlaufenden Achsen der industriellen Bearbeitungsmaschine ausführen.

Eine alternative vorteilhafte Ausgestaltung der Verfahren läßt deren Durchführung unabhängig von der industriellen Bearbeitungsmaschine nachträglich in einem separaten Rechnersystem zu.

Weitere Vorteile und Details der vorliegenden Erfindung geben sich anhand der folgenden Beschreibung eines vorteilhaften Ausführungsbeispiels und in Verbindung mit den Figuren. Es zeigen:

Fig. 1 Beispiel einer Unrundkontur zur Fertigung auf einer industriellen Bearbeitungsmaschine im Beispiel eines Exzenters,

Fig. 2 Blockschaltbild der Sollwertvorgabe und Achsmechanik einer industriellen Bearbeitungsmaschine,

Fig. 3 Blockschaltbild der Sollwertvorgabe und Auswertung des Konturfehlers und

Fig. 4 beispielhaftes Programmlisting für die Programmierung eines Rechnersystems zur Durchführung des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung.

In der Darstellung nach **Fig. 1** ist ein Beispiel einer Unrundkontur anhand eines Exzenters E gezeigt. Der Exzenter E stellt das zu fertigende Werkstück dar, welches durch eine Rundachse C verfahren wird. Daneben ist ein Werkzeug WZ gezeigt, z. B. ein Drehmeißel oder Fräser, welcher durch eine Linearachse X zugestellt wird.

Im einfachsten Fall ist diese Unrundkontur als Funktion mathematisch formulierbar. Schwieriger wird es, wenn eine Kontur nur als Menge von Stützpunkten vorliegt. In numerischen Steuerungen werden Konturen vorteilhafterweise mit Kurventabellen beschrieben. Hierzu werden Stützpunkte der Kontur programmiert und die numerische Steuerung ermit-

telt die Zwischenwerte beispielsweise mit Hilfe einer Linear- oder Splineinterpolation.

Legt man dem Ausführungsbeispiel die Fertigung eines Exzenters nach der Darstellung in Fig. 1 zugrunde, so ergibt sich für den Aufbau einen entsprechenden industriellen Bearbeitungs-
5 maschine ein Blockschaltbild der Sollwertvorgabe und Achsmechanik nach der Darstellung gemäß Fig. 2. Es wird ein Sollwert X_{soll} für die Rundachse C vorgegeben. Ein Regler RC für die Rundachse wird mit diesem Sollwert C_{soll} beaufschlagt und liefert einen entsprechenden
10 Istwert C_{ist} .

Außerdem wird der Sollwert C_{soll} einer geometrischen Transformation $X = f(C)$ unterzogen. Woraus ein entsprechender Sollwert X_{soll} für die Linearachse X resultiert. Ein entsprechender Regler RX für die Linearachse wird mit
15 diesem Sollwert X_{soll} beaufschlagt und liefert einen entsprechenden Istwert X_{ist} der Linearachse.

Nach der vorliegenden Erfindung werden nun die Istwerte C_{ist} der Rundachse C gemessen und mit der gleichen Transformation $X = f(C)$ beaufschlagt, die auch die Kontur
20 beschreibt. So erhält man zu jedem gemessenen Istwert C_{ist} der Rundachse C einen korrespondierenden Wert $X_{\text{soll_ist}}$ der Linearachse X . Durch einen Vergleich dieses Wertes $X_{\text{soll_ist}}$ mit dem zugehörigen gemessenen Istwert X_{ist} am Ausgang des Reglers RX für die Linearachse X ,
25 z. B. durch Differenzbildung, erhält man bei eventuell auftretende Abweichungen einen Konturfehler ΔK .

Diese Funktionalität ist in der Darstellung nach Fig. 3 gezeigt. Diese Darstellung entspricht auf der linken Seite dem bereits mit der Darstellung nach Fig. 2 gezeigten Block-
30 schaltbild, welches um die im vorangehenden geschilderte Funktionalität erweitert ist. Dazu wird der am Ausgang des Reglers RC für die Grundachse C bereitstehende Istwert C_{ist} einer Einheit zugeführt, welche die Transformation $X = f(C)$ beschreibt. Anschließend steht ausgangsseitig der be-
35 reits erwähnte korrespondierende Wert $X_{\text{soll_ist}}$ bereit. In einer Vergleichereinheit, welcher der genannte Wert $X_{\text{soll_ist}}$ und der am Ausgang des Reglers RX für die Linearachse X bereitstehende Istwert X_{ist} zugeführt wird, stellt ausgangsseitig die entsprechende Differenz bereit,
40 welche den Konturfehler ΔK beschreibt.

Das Verfahren kann jedoch auch zur Kontrolle der korrekten Sollwertvorgabe eingesetzt werden. Die Vorgehensweise ist dann ähnlich der im vorangehenden anlässlich Fig. 3 geschilderten. Der korrespondierende Wert $X_{\text{soll_ist}}$
45 wird auf die gleiche Art und Weise durch Beaufschlagung des Istwertes C_{ist} der Rundachse C mit der geometrischen Transformation $X = f(C)$ ermittelt. Dieser Wert wird nun jedoch mit dem Sollwert X_{soll} für die Linearachse X verglichen. Treten Abweichungen auf, so ist dies ein Zeichen dafür,
50 daß die Sollwertvorgabe nicht korrekt erfolgt.

Die beiden im vorangehenden geschilderten Verfahren können an leerlaufenden Achsen, während der Bearbeitung oder aber auch nachträglich an einem Rechnersystem durchgeführt werden. Zur Veranschaulichung der Realisierung in
55 einem separaten Rechnersystem ist in der Darstellung nach Fig. 4 ein Programmlisting einer möglichen Realisierung des Verfahrens zur Ermittlung eines Konturfehlers nach der vorliegenden Erfindung beschrieben. Die Syntax ist dabei nach dem geläufigen "Matlab"-Format mit den entsprechenden Befehlen gehalten.
60

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung eines Konturfehlers (ΔK),
65 insbesondere einer Unrundkontur, bei industriellen Bearbeitungsmaschinen wie numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen, Robotern oder dergleichen, mit einer

Rundachse (C) und einer Linearachse (X), welche einen geometrischen Zusammenhang $X = f(C)$ beschreiben, wobei

- Istwerte (C_{ist}) der Rundachse (C) gemessen werden,
- jeder Istwert (C_{ist}), mit der die Kontur beschreibenden Transformation $X = f(C)$ beaufschlagt wird und ein korrespondierender Wert ($X_{\text{soll_ist}}$) der Linearachse (X) ermittelt wird,
- entsprechende Istwerte (X_{ist}) der Linearachse (X) gemessen werden und
- durch Vergleich der gemessenen Istwerte (X_{ist}) mit den ermittelten korrespondierenden Werten ($X_{\text{soll_ist}}$) Abweichungen bestimmt werden, welche einen Konturfehler (ΔK) beschreiben.

2. Verfahren zur Kontrolle einer korrekten Sollwertvorgabe (C_{soll} , X_{soll}) bei industriellen Bearbeitungsmaschinen wie numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen, Robotern oder dergleichen, mit einer Rundachse (C) und einer Linearachse (X), welche einen geometrischen Zusammenhang $X = f(C)$ beschreiben, wobei

- Istwerte (C_{ist}) der Rundachse (C) gemessen werden,
- jeder Istwert (C_{ist}) mit der die Kontur beschreibenden Transformation $X = f(C)$ beaufschlagt wird und ein korrespondierender Wert ($X_{\text{soll_ist}}$) der Linearachse (X) ermittelt wird,
- entsprechende Sollwerte (X_{soll}) der Linearachse (X) bestimmt werden und
- durch Vergleich der bestimmten Sollwerte (X_{soll}) mit den ermittelten korrespondierenden Werten ($X_{\text{soll_ist}}$) Abweichungen der Sollwertvorgabe bestimmt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die die Kontur beschreibende Transformation $X = f(C)$ als mathematische Funktion beschrieben wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die die Kontur beschreibende Transformation $X = f(C)$ in Form einer Kurventabelle mit Stützpunkten beschrieben wird, zwischen denen Zwischenwerte durch eine Interpolation ermittelt werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die Interpolation durch eine Linearinterpolation oder eine Splineinterpolation erfolgt.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei dieses in Echtzeit an der industriellen Bearbeitungsmaschine ausgeführt wird.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 5, wobei dieses an leerlaufenden Achsen (C , X) der industriellen Bearbeitungsmaschine ausgeführt wird.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 5, wobei dieses unabhängig von der industriellen Bearbeitungsmaschine nachträglich an einem separaten Rechnersystem ausgeführt wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

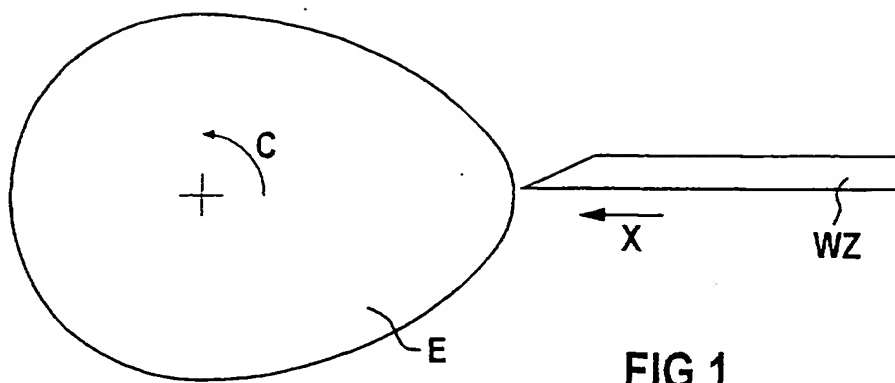


FIG 1

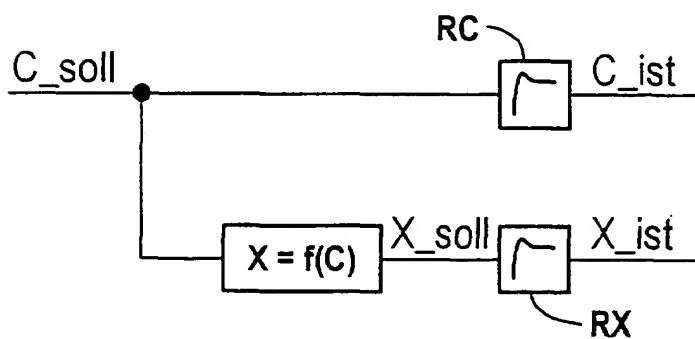


FIG 2

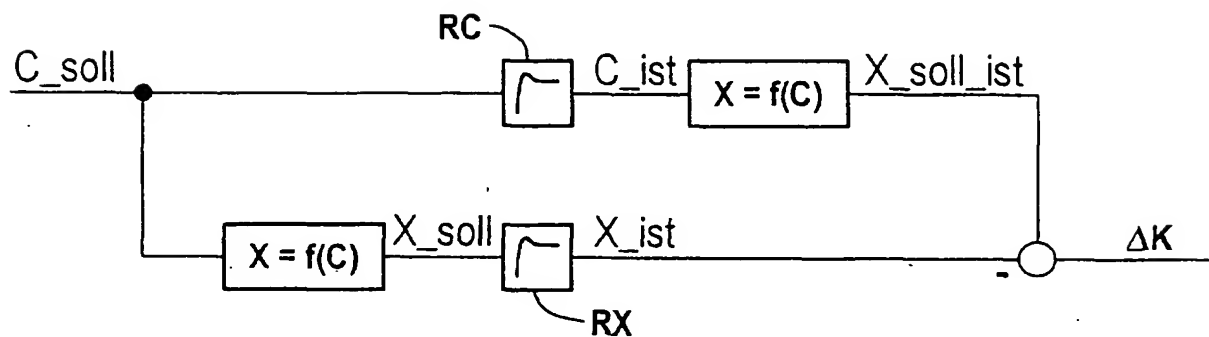


FIG 3

```

% -----
% Variablen löschen
% -----
clear;

% -----
% Stützpunkte der Kontur laden
% -----
load -ascii a:\goetze\C_Tab.dat
load -ascii a:\goetze\X_Tab.dat

% -----
% gemessene Istwerte laden
% -----
load -ascii a:\goetze\C_ist.dat
load -ascii a:\goetze\X_ist.dat
C = C_ist;
X = X_ist;

C_modulo = C-360*floor(C/360);

[m,n] = size(C);
[mm,nn] = size(X);
mm-m
nn-n

% -----
% Soll_Ist-Werte berechnen (Linear-/ Splineinterpolation)
% -----
for i = 1 : 1 : m,
    X_soll_ist(i,1)=interp1 (C_Tab,X_Tab,C_modulo(i),'linear');
end;

% -----
% Konturfehler berechnen
% -----
Konturfehler = X_soll_ist-X;

% -----
% Grafikausgabe
% -----
plot(C_modulo,Konturfehler, 'y-');
grid;
pause;

Skalierung = 0.04;

Stuetzpunktzahl = 90;
for j = 1 : 1 : (Stuetzpunktzahl+1),
    phi(j,1) = (j-1)/Stuetzpunktzahl*2*pi;
    norm(j,1) = 1;
    SollKontur(j,1) = Interp1 (C_Tab,X_Tab,(j-1)/Stuetzpunktzahl*360,'linear');
end;

polar(phi,Skalierung*4*norm,'g-');
hold on;
polar(phi,Skalierung*3*norm,'r-');
polar(phi,Skalierung*2*norm,'g-');

Max_SollKontur = max(SollKontur);
Norm_Kontur = SollKontur/Max_SollKontur;
polar(phi,Norm_Kontur*Skalierung + Skalierung*3,'b-');

polar(C_modulo/180*pi,Konturfehler + Skalierung*3,'y-');
hold off;

```

FIG 4